ENERGIA POTENCIAL

Uma outra forma comum de energia é a energia potencial U. Para falarmos de energia potencial, vamos pensar em dois exemplos: Um praticante de *bungee-jump* saltando de uma plataforma. O sistema é formado pela Terra e pelo atleta. A força entre os objetos é a força gravitacional. Podemos descrever o movimento do atleta e o aumento de sua energia cinética definindo uma energia potencial gravitacional. Este tipo de energia está associada a posição do objeto e não ao seu movimento.

A configuração do sistema varia (a distância entre a Terra (chão) e o atleta diminui. Um segundo exemplo seria pensarmos num mergulhador que pula de um trampolim em uma piscina. Assim como o atleta do exemplo anterior, este mergulhador irá atingir a água com uma velocidade relativamente elevada, possuindo grande energia cinética. Se o atleta e o mergulhador estavam inicialmente em repouso no trampolim, de onde provém essa energia? Em ambos os casos, a energia gravitacional exerce um trabalho sobre o corpo durante a queda.

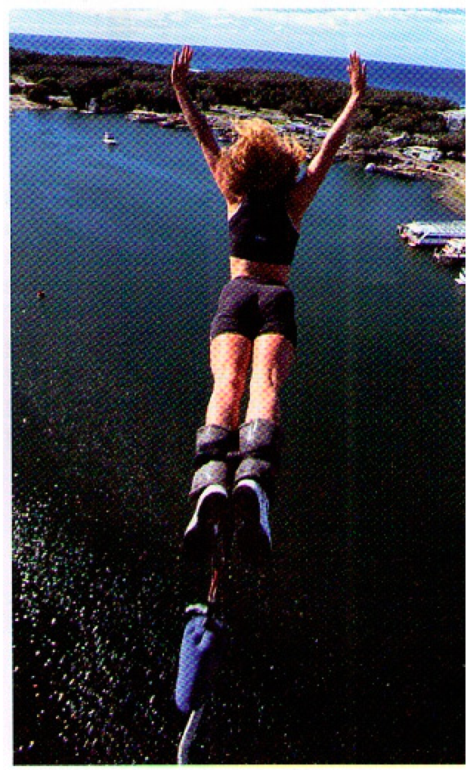


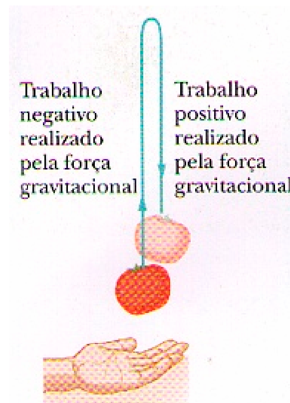
FIG. 8-1 A energia cinética de um praticante de *bungee-jump* aumenta durante a queda livre; em seguida, a corda começa a esticar, desacelerando o atleta. *(KOFUJIWARA/amana images/ Getty Images News and Sport Services)*

Existe energia potencial gravitacional mesmo no caso de o mergulhador ficar parado no trampolim, por exemplo. Nenhuma energia é adicionada ao sistema mergulhador-Terra durante a sua queda. É a energia armazenada é que é transformada de uma forma (energia potencial) em outra forma (energia cinética) durante sua queda.

Estudaremos aqui como essa transformação pode ser entendida a partir do teorema do trabalho-energia.

Primeiro vamos ver a relação entre trabalho e energia potencial. Voltemos ao exemplo em que uma bola é lançada horizontalmente para cima. Já vimos que se a bola está subindo, o trabalho da força gravitacional W_g é negativo, por que a força extrai energia da energia cinética da bola. Esta energia é transferida pela força gravitacional da energia cinética da bola para a energia potencial gravitacional do sistema bola-Terra.

A bola perde velocidade, pára e começa a cair de volta por causa da força gravitacional (Figura ao lado). Durante a queda, a transferência se inverte: o trabalho realizado sobre a bola pela força gravitacional é positivo e a força gravitacional passa a transferir energia potencial do sistema bola-Terra para a energia cinética da bola.



Tanto na subida como na descida, a variação ΔU da energia potencial gravitacional é definida como o negativo do trabalho realizado sobre a bola pela força gravitacional.

$$\Delta U = -W. \tag{8-1}$$

FORÇAS CONSERVATIVAS E DISSIPATIVAS

Uma força é dita conservativa quando seu trabalho independe da trajetória.

A força gravitacional e a força elástica são exemplos de forças conservativas.

Uma força que não é conservativa é chamada de dissipativa. Exemplos de forças dissipativas são a força de atrito cinético e a força de arrasto.

Se um bloco desliza em um piso com atrito, a força de atrito cinético exercida pelo piso realiza trabalho negativo sobre o bloco, reduzindo sua velocidade e transferindo energia cinética do bloco para uma outra forma de energia, chamada de energia térmica (que está associada ao movimento dos átomos e moléculas). Os experimentos mostram que essa transferência de energia não pode ser revertida (a energia térmica não pode ser transferida de volta para a energia cinética do bloco pela força de atrito cinético).

Assim, a energia térmica NÃO é uma energia potencial!

Algo importante sobre força conservativa:

O teste principal para determinar se uma força é conservativa ou dissipativa é o seguinte: deixa-se a força atuar sobre uma partícula que se move ao longo de um percurso fechado, começando em uma certa posição e retornando a essa posição (ou seja, fazendo uma viagem de ida e de volta). A força é conservativa se e apenas se a energia total transferida durante a viagem de ida e de volta, ao longo deste ou de qualquer outro percurso fechado, for nula.

O trabalho total realizado por uma força conservativa sobre uma partícula que se move ao longo de qualquer percurso fechado é nulo.

A força gravitacional e a força elástica passam neste teste!!!

Uma conseqüência importante do teste do percurso fechado é o seguinte:

O trabalho realizado por uma força conservativa sobre uma partícula que se move entre dois pontos não depende da trajetória seguida pela partícula.

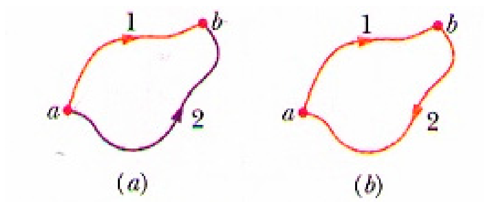


FIG. 8-4 (*a*) Uma partícula pode se mover do ponto *a* ao ponto *b*, sob a ação de uma força conservativa, seguindo a trajetória 1 ou a trajetória 2. (*b*) A partícula descreve um percurso fechado, seguindo a trajetória 1 para ir do ponto *a* ao ponto *b* e a trajetória 2 para voltar ao ponto *a*.

Este resultado é importante porque permite simplificar problemas difíceis quando apenas uma força conservativa está envolvida. Suponha que você precise calcular o trabalho realizado por uma força conservativa ao longo de uma certa trajetória entre dois pontos e que o cálculo seja difícil ou mesmo impossível sem informações adicionais. Você pode determinar o trabalho substituindo a trajetória entre estes dois pontos por outra para a qual o cálculo seja mais fácil.

Exemplo 8-1

A Fig. 8-5*a* mostra um pedaço de 2,0 kg de queijo gorduroso que desliza por um trilho sem atrito do ponto *a* ao ponto *b*. O queijo percorre uma distância total de 2,0 m ao longo do trilho e uma distância vertical de 0,80 m. Qual é o trabalho realizado sobre o queijo pela força gravitacional durante o deslocamento?

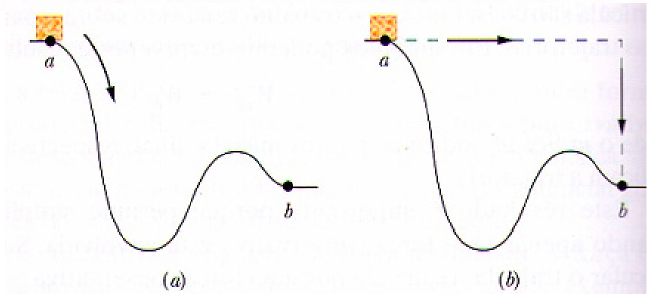


FIG. 8-5 (*a*) Um pedaço de queijo desliza ao longo de uma superfície curva sem atrito do ponto *a* para o ponto *b*. (*b*) O trabalho realizado pela força gravitacional sobre o queijo é mais fácil de calcular para a trajetória tracejada do que para a trajetória real, mas o resultado é o mesmo nos dois casos.

Solução:

Sabemos que $W_g = m\, g\, d \cos\phi$. Entretanto, não podemos usar essa equação, visto que o ângulo ϕ entre a força e o deslocamento variam constantemente nesta trajetória. Como a força da gravidade é conservativa, podemos escolher outra trajetória entre a e b para o cálculo do trabalho.

Vamos escolher o percurso tracejado da figura 8-5b. Ao longo do segmento horizontal. O ângulo ϕ é constante e igual a 90°. Não conhecemos o deslocamento horizontal de a para b, mas como sem 90° é igual a zero, vemos queo trabalho realizado pela força gravitacional ao longo do caminho horizontal é nulo ($W_{g,\ horizontal}$ = mgd cós $90^0 = 0$).

No segmento vertical, o deslocamento d é de 0,80 m e com F_g e d apontando verticalmente para baixo. ϕ é constante e igual a 0°. Assim:

O trabalho $W_{g,\ vertical}$ = m g d cos 0º = (2,0 kg) (9,8 m/s²) (0,80 m) (1) = 15,7 J.

O trabalho total realizado sobre o queijo por F_g quando o queijo se desloca do ponto ao ponto b ao longo do percurso tracejado é:

$W = W_{g,\ horizontal} + W_{g,\ vertical} = 0 + 15{,}7\ J = 15{,}\ 7\ J.$

Este é também o trabalho realizado quando o queijo escorrega ao longo do trilho de a até b.

Energia potencial gravitacional

Vimos que a variação de energia potencial é dada por:

$\Delta U = - W.$

Se uma partícula sai da posição y_i inicial e vai até a posição y_f final, e se tomarmos o sentido do eixo y positivo para cima, g terá sinal negativo e a equação se torna:

Assim, $U_f - U_i = - W = - m\ (-g)\ (y_f - y_i) = m\ g\ (y_f - y_i)$.

Podemos ainda tomar U_i como sendo a energia potencial gravitacional do sistema quando ele se encontra em uma configuração de referência na qual a partícula está em um ponto de referencia y_i. Normalmente $U_i = 0$ e $y_i = 0$.

Neste caso, $U_f = U = m\ g\ y$.

A energia potencial gravitacional associada a um sistema partícula-Terra depende apenas da posição vertical y (ou altura) da partícula em relação à posição de referência $y = 0$, e não da posição horizontal.

Exemplo 8-2

Uma preguiça de 2,0 kg está pendurada a 5,0 m acima do solo (Fig. 8-6). (a) Qual é a energia potencial gravitacional U do sistema preguiça-Terra se tomamos o ponto de referência $y = 0$ como estando (1) no do solo, (2) no piso de uma varanda que está a 3,0 m acima do solo, (3) no galho onde está a preguiça e (4) 1,0 m acima do galho? Considere a energia potencial como sendo nula em $y = 0$.

(1) $y = 5{,}0$ m e $y_i = 0$ está no solo:

$U = m.g.y = (2{,}0 \text{ kg})\ (9{,}8 \text{ m/s}^2)\ (5{,}0 \text{ m}) = 98$ J.

(2) $y_i = 0$ está 2 m abaixo do macaco, assim, $y = 2$ m.

$U = m.\ g.\ y = (2{,}0 \text{ kg})\ (9{,}8 \text{ m/s}^2)\ (2{,}0 \text{ m}) = 39{,}2$ J.

(3) Neste caso, $y_i = y = 0$

$U = 0$;

(4) $U = m\ .\ g.\ y = (2{,}0 \text{ kg})\ (9{,}8 \text{ m/s}^2)\ (-1{,}0 \text{ m}) = -19{,}6$ J.

(b) A preguiça desce da árvore. Para cada escolha do ponto de referência, qual a variação ΔU da energia potencial do sistema preguiça-Terra?

Solução:
A variação da energia potencial não depende da escolha do ponto de referência, mas apenas de Δy, a variação de altura.

Nas quatro situações temos o mesmo valor $\Delta y = -5{,}0$ m. Assim, para as quatro situações:

$\Delta U = m\ g\ \Delta y = (2{,}0 \text{ kg})\ (9{,}8 \text{ m/s}^2)\ (-5{,}0 \text{ m}) = -98$ J.

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

A energia mecânica E_{mec} de um sistema é a soma da energia potencial U do sistema com a energia cinética K dos objetos que compõem o sistema:

$$E_{mec} = K + U \quad \text{(energia mecânica)}$$

Aqui vamos discutir o que acontece com a energia mecânica quando as transferências de energia dentro do sistema são produzidas apenas por **forças conservativas** (os objetos não estão sujeitos a forças de atrito e de arrasto). Além disso, vamos supor que o sistema está isolado do ambiente, isto é nenhuma força externa produzida por um objeto fora do sistema causa variações de energia dentro do sistema.

Quando uma força conservativa realiza trabalho W sobre um objeto dentro do sistema, essa força é responsável por uma transferência de energia entre a energia cinética K do objeto e a energia potencial U do sistema. Vimos que:

$\Delta K = W$

Vimos também que a variação da energia potencial é

$\Delta U = - W.$

Combinando as duas equações anteriores:

$\Delta K = - \Delta U$

➔ ou seja, uma dessas energias aumenta exatamente a mesma quantidade que a outra diminui.

Assim:

$K_2 - K_1 = -(U_2 - U_1)$. ➔ $\mathbf{\Delta E_{mec} = 0}$.

Reagrupando os termos da equação acima:

$$K_2 + U_2 = K_1 + U_1.$$

(conservação de energia mecânica)

Em outras palavras:

(soma de K e U para qualquer estado do sistema) = (soma de K e U para qualquer outro estado do sistema)

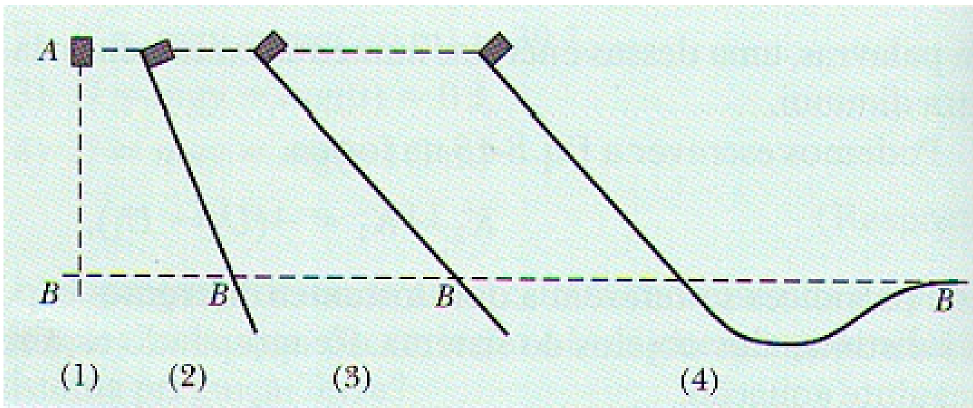
Quando o sistema é isolado **e** apenas as forças conservativas atuam sobre os objetos do sistema.

Em um sistema isolado, onde apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas sua soma, a energia mecânica E_{mec} do sistema, não pode variar.

↓↓

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA MECANICA ($\Delta E_{mec} = 0$).

Exemplo: a figura mostra quatro situações: uma na qual um bloco inicialmente em repouso é deixado cair e três outras nas quais o bloco desce deslizando em rampas sem atrito. (a) Ordene as situações de acordo com a energia cinética do bloco no ponto B, em ordem decrescente. (b) Ordene as situações de acordo com a velocidade do bloco no ponto B, em ordem decrescente.



Solução:

(a) Como a força gravitacional é conservativa: E_{mec} do sistema é constante.

Inicialmente, o bloco tem $v_0 = 0$, em todos os quatro casos e suas alturas são iguais a h. A equação da variação de energia mecânica E_{mec} do sistema (antes (em A) e depois (em B)) em todos os casos é:

$E_{mec,\,A} = E_{mec,\,B}$

$U_A + K_A = U_B + K_B$

$mgh_A + (1/2)\, m(v_A)^2 = mgh_B + K_B$

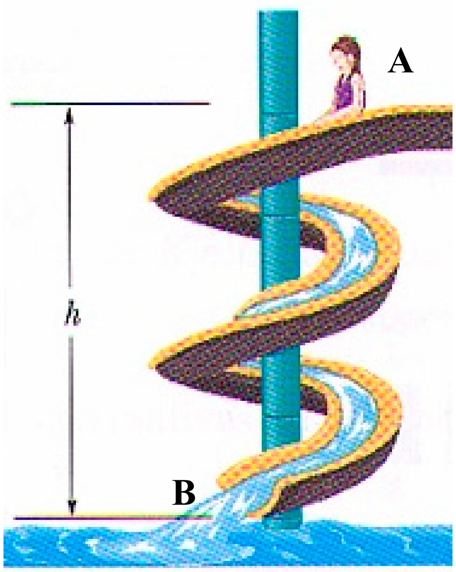
$v_A = 0$ e $h_B = 0$ (para todos os quatro casos).

Assim,

$mgh_A + 0 = 0 + (1/2)\, m(v_B)^2 \Rightarrow K_B = mgh_A$

(b) Da mesma forma, como a energia cinética da partícula em B é a mesma para quaisquer das quatro situações, a velocidade da partícula em B é igual nas quatro situações.

Exemplo 2:



Na figura, uma criança de massa m parte do repouso no alto de um toboágua, a uma altura h = 8,5 m acima da base do brinquedo. Supondo que a presença da água torna o atrito desprezível, encontre a velocidade da criança ao chegar à base do toboágua.

Solução:

$E_{mec,\,A} = E_{mec,\,B}$

$U_A + K_A = U_B + K_B$

$\cancel{m}\ g\ h + 0 = 0 + (1/2)\ \cancel{m}\ (v_B)^2$

$(1/2)\ (v_B)^2 = 9{,}8 \text{ x } 8{,}5$

$(v_B)^2 = 9{,}8 \text{ x } 8{,}5 \text{ x } 2$

$(v_B)^2 = 166{,}6$

$v_B = 12{,}9 \text{ m/s}$

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

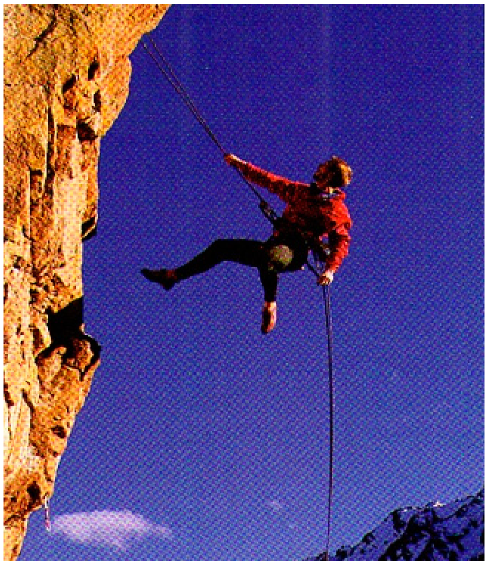
A energia total de um sistema pode mudar apenas através da transferência de energia para o sistema ou do sistema.

$W = \Delta E = \Delta E_{mec} + \Delta E_t + \Delta E_{int}$

Onde ΔE_{int} é uma variação de qualquer outro tipo de energia interna do sistema.

Esta lei não é algo que deduzimos a partir de um princípios básicos da física, mas se baseia em resultados experimentais. Os cientistas e engenheiros nunca encontraram uma exceção.

Num sistema isolado a energia total não pode variar ➔ $\Delta E = 0$, ou seja, $W = 0$.



Para dar um exemplo de sistema isolado, vamos considerar o sistema alpinista, seu equipamento e a Terra como um sistema isolado (figura ao lado).

Enquanto ele desce, sua energia potencial está diminuindo, o que tende a aumentar a sua energia cinética. Mas o alpinista não quer transferir muita energia para essa forma, pois se assim o fizesse, se moveria muito rapidamente.

Assim, ele passa a corda por argolas de metal, de modo a produzir atrito entre a corda e as argolas durante a descida. Essa passagem da corda pelas argolas transfere energia potencial gravitacional do sistema para energia térmica das argolas e da corda de uma forma controlável. A energia total do sistema (alpinista-equipamento-Terra) não varia durante a descida.

$W = \Delta E = \Delta E_{mec} + \Delta E_{t} + \Delta E_{int} = 0$